

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ РАСШИРЕННОГО СПЕКТРА С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА

Аннотация. Вейвлет-анализ представляет собой особый тип линейного преобразования сигнала, позволяющий изучить важные особенности сигнала, которые не удастся увидеть при обычном представлении и при помощи традиционных преобразований Фурье и Лапласа. Вейвлет-обработка сигналов обеспечивает возможность весьма эффективного сжатия сигналов и их восстановления с малыми потерями информации, а также решение задач фильтрации сигналов. В работе рассматривается возможность применения вейвлет-анализа для повышения помехоустойчивости широкополосных систем связи.

Ключевые слова: системы расширенного спектра; корреляционная обработка; вейвлет-анализ; декомпозиция; аппроксимирующие и детализирующие коэффициенты; очистка сигналов от шума.

Широкополосные системы используются для борьбы или подавления вредного влияния мешающих сигналов, интерференции, обеспечения скрытности сигнала путем передачи его с малой мощностью, что затрудняет его детектирование непредназначенными слушателями в присутствии основного шума, достижения защиты сообщения от других слушателей [1].

Аппарат вейвлет-анализа очень удобен для обнаружения сигнала в достаточно сильных шумах. Традиционный метод корреляционной обработки хоть и успешно справляется с этой задачей в системах с расширенным спектром, но при сильном зашумлении он может давать сбои. Поэтому перед стандартной корреляционной обработкой целесообразно выполнить очистку сигнала от шумов с помощью вейвлетов.

Поясним суть вейвлет-обработки сигналов простыми словами.

Сигнал пропускается через два параллельно соединенных фильтра — низкочастотный и высокочастотный. Это фильтры вейвлет-преобразования. Далее повторяем эту процедуру для выходного сигнала низкочастотного фильтра, оставив выходной сигнал высокочастотного фильтра неизменным. Эта процедура называется *декомпозицией сигнала* [2]. Декомпозиция повторяется определенное число раз. В конечном счете мы получаем множество подсигналов,

которые называются коэффициентами детализации — выход ВЧ-фильтра и аппроксимации — выход НЧ-фильтра, суперпозиция которых равна исходному сигналу. При вейвлет-разложении коэффициенты низкой частоты в основном представляют собой сигналы, а высокочастотные коэффициенты представляют собой шум. Понижение уровня шума достигается путем выбора порогового значения для таких высокочастотных коэффициентов [3].

Вейвлет-преобразование одномерного сигнала — это его представление в виде обобщенного ряда или интеграла Фурье по системе базисных функций (1).

$$\psi_{ab}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad (1)$$

сконструированных из материнского вейвлета $\psi(t)$, обладающего определенными свойствами за счет операций сдвига во времени (b) и изменения временного масштаба (a). Множитель $1/\sqrt{a}$ обеспечивает независимость нормы этих функций от масштабирующего числа a . Итак, для заданных значений параметров a и b функция $\psi_{ab}(t)$ и есть вейвлет, порождаемый материнским вейвлетом $\psi(t)$ [2].

Для изучения этого метода обработки сигналов с помощью математического пакета MATLAB было разработано программное обеспечение. Частичные результаты экспериментов по фильтрации сигнала из шума с применением вейвлет-преобразования приведены на рис. 1–4.

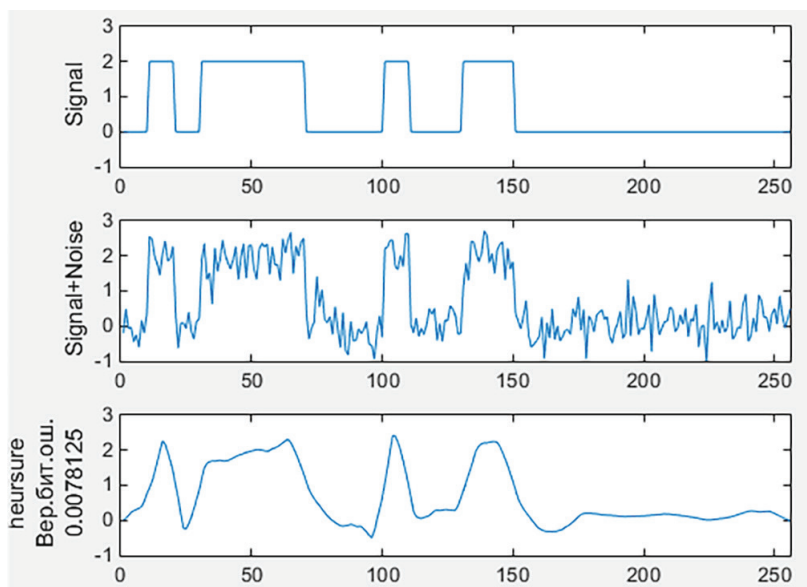


Рис. 1. Пример очистки М-последовательности при помощи ПО (Symlet-вейвлет, шум –5 дБ, порог Heursure)

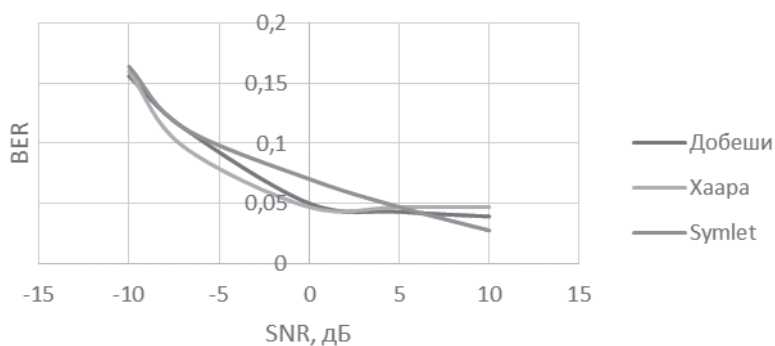


Рис. 2. Зависимости вероятности битовых ошибок от уровня шума для разных материнских вейвлетов (5 уровень разложения, порог Sqwolog)

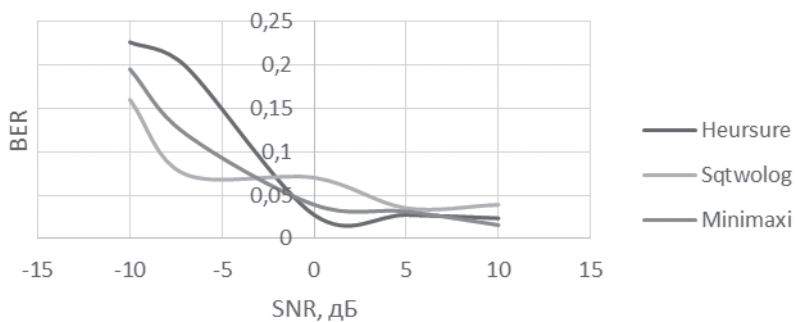


Рис. 3. Зависимости вероятности битовых ошибок от уровня шума для разных порогов (4-й уровень разложения, вейвлет Добеши)

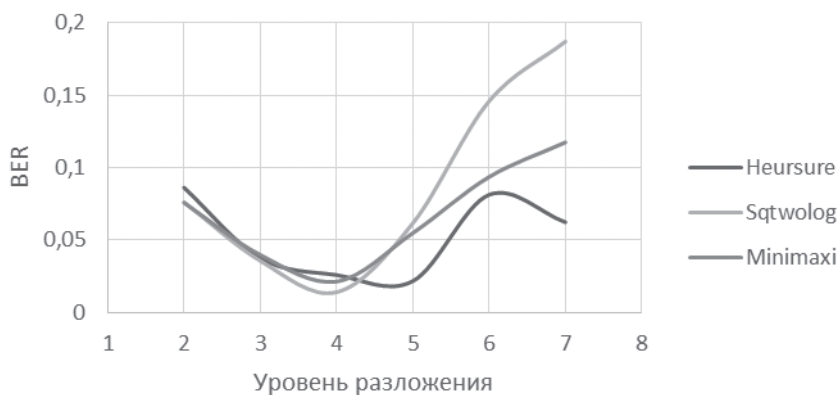


Рис. 4. Зависимость качества очистки сигнала от уровня разложения (SNR = 5дБ)

В эксперименте снималась зависимость вероятности битовой ошибки (BER) от отношения сигнал/шум в децибелах (SNR), менялся материнский вейвлет, порог, количество уровней разложения. Сигнал, использующийся в эксперименте, — М-последовательность.

Выводы

Какой бы анализирующий вейвлет ни был взят, качество очистки получается примерно одинаковым. Это означает, что выбор материнского вейвлета не имеет решающего значения для качественной очистки сигнала от шума. При больших помехах порог Neursure дает большой поток битовых ошибок, но при лучших характеристиках канала (начиная с $\text{SNR} = 0$ дБ) дает результат лучший, чем при других порогах. Для очистки данного сигнала наиболее оптимально разложение на 4–5 уровней.

Список литературы

1. *Ипатов В.* Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения. М. : Техносфера, 2007. 488 с.
2. *Яковлев А. Н.* Основы вейвлет-преобразования сигналов. М. : САЙНТС-ПРЕСС, 2003. 80 с.
3. *Подорова А. И.* Приложения вейвлет-анализа. Разработка учебного комплекса : выпуск. квалификац. работа. Екатеринбург : УрФУ, 2016. 73 с.

УДК 342.843.5

В. О. Моторина

Научный руководитель: ст. преп. В. В. Москвин
Курганский государственный университет, Курган

ЭЛЕКТРОННОЕ ГОЛОСОВАНИЕ: ОПЫТ ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН И РОССИИ

Аннотация. Данная статья посвящена рассмотрению опыта электронного голосования в зарубежных странах и России. Чтобы оценить опыт зарубежных стран, были рассмотрены виды электронного голосования, а также процесс проведения такого голосования во Франции, Швейцарии и Эстонии. Выявлены достоинства и недостатки электронного голосования в данных странах. Для оценки российского опыта в электронном голосовании была рассмотрена система ГАС «Выборы», а также комплекс для электронного голосования (КЭГ) и комплекс обработки избирательных бюллетеней (КОИБ).